doi:10.13866/j.azr.2019.03.07

干旱区无覆膜滴灌冬小麦土壤盐分时空演化特征①

李　源，　耿庆龙，　赖　宁，　李青军，　陈署晃
（新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所，新疆　乌鲁木齐　830091）

摘　要：为研究无覆膜滴灌技术在新疆干旱地区密植作物冬小麦上应用的可持续性，以奇台县小麦农田为研究对象，开展了田间连续性定位监测试验。通过采集滴灌带中心到两侧0～80 cm不同深度段土壤样品，利用地统计学分析方法，研究在应用滴灌技术8 a间，小麦地块土壤盐分的运移规律。结果表明：① 各土层土壤盐分符合对数正态分布，随滴灌年限增加，0～80 cm土层盐分含量逐渐降低。在应用滴灌技术8 a后，根区0～20 cm土层脱盐效果较为明显；在应用滴灌技术6 a后，表层0～60 cm的洗盐效果显著，盐分被淋洗至60 cm以下一定区域并积累。② 随着滴灌年限增加，盐分由滴灌中心向两侧及深部土层迁移，应用滴灌技术8 a后，盐分逐渐向滴头下方60 cm以下、距滴头水平距离40 cm以外区域集聚。③ 随着滴灌年限的增加，小麦的产量逐渐上升。建议在目前的灌溉制度下，增加滴灌频率并减少单次灌水量。该研究可为规模化推广小麦无覆膜滴灌技术提供一定的理论支持。

关键词：冬小麦；无覆膜；滴灌年限；土壤盐分；干旱地区；奇台；新疆

根区土壤盐分状况对农作物生长及最终产量起到至关重要的作用。目前，针对滴灌条件下土壤水盐动态特征的研究成果日益丰富。部分学者认为，滴灌条件下在作物根区可以形成淡化的脱盐区[1-3]，并且认为地膜覆盖抑制了土壤水分蒸发，避免了膜下土壤盐分表聚，根区土壤盐分含量随滴灌应用年限的增加而逐渐下降[4-5]；也有一部分学者指出，长期膜下滴灌条件下可能导致土壤呈积盐态势[6-8]。认为膜下滴灌技术仅仅调节土壤盐分在作物根层的分布状况，并未将盐分排出土体，在蒸发和地下水上升作用下，盐分上移并在土壤表层聚集。以上研究成果对于解释和指导不同地区膜下滴灌农田水盐调控及盐碱地改良起到了积极作用。由于滴灌土壤水盐运动为局部扩散模式，受到气候、土壤质地、潜水位、灌溉制度等因素的影响[9-10]。因此，土壤盐分分布特征表现出强烈的时空分异性。目前，在土壤盐分迁移规律方面的研究成果主要针对膜下滴灌条件，而对于无覆膜滴灌条件下，随滴灌年限的增加，累积在土壤中的盐分分布特征以及是否表聚等问题受到了学者的关注和思考。

奇台县是小麦种植大县，2015年小麦种植面积为7.9×10^4 hm^2，占农作物总播种面积的63.1%。传统灌溉方式主要是大水漫灌，虽然能暂时起到一定的排盐作用，但耗费大量水资源，并可能导致地下水位抬升后将深层盐分携带至表层，从而引起土壤的次生盐碱化。滴灌节水技术在奇台县小麦种植中的应用也仅始于近几年，在新疆干旱的气候背景下，小麦的密植特征以及无覆膜的新型种植模式，决定了其水盐迁移规律与膜下滴灌有较大差异。目前，对于该区不同滴灌年限下盐分的迁移规律认识尚不清楚，而滴灌条件下根区土壤盐分积累特征是决定这一灌溉方式在该区能否可持续应用的重要问题。本文通过大田试验研究了滴灌种植8 a间，小麦收获后土壤盐分的变化特征，分析长期使用无覆膜滴灌技术下农田土壤盐分演变特点及趋势，为该项节水灌溉技术的可持续应用及更大范围的推广提供参考。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于新疆奇台县西地镇，属于中温带大陆性气候，地势较为平坦，昼夜温差大，日照时间长，年平均气温4.8 ℃，有效积温3 123 ℃，平均无霜期

①　**收稿日期**：2018-08-13；　**修订日期**：2019-01-11
基金项目：国家重点研发计划项目(2018YFD0200406)；国家自然科学基金项目(41461047)；中央引导地方科技发展专项资金“新疆遥感与农业大数据应用服务平台”项目资助
作者简介：李源(1987-)，男，博士，助理研究员，研究方向为土壤肥料与农业信息技术应用. E-mail:liyuan586287@126.com
通讯作者：陈署晃. E-mail:chensh66@163.com

160 d,年均降水量 176 mm,而年均蒸发量则高达 2 100 mm以上。土壤类型包括棕钙土、灰漠土、草甸土,都存在不同程度的盐碱化问题。研究区供试 3 块地土壤类型均为草甸土,主要种植的农作物为小麦,地下水埋深为 16 m。

在 2010 年、2012 年和 2014 年,分别选取 3 块相邻农田进行试验,灌溉方式从漫灌转变为滴灌。3 个研究地块在灌水制度、土壤质地、小麦品种、施肥量全部相同,在 2010 年使用滴灌技术前,分别对 3 块地块的土壤进行取样,土壤本底养分、盐分含量见表 1。从表 1 可以看出,这 3 个地块在应用滴灌前本底值总体上具有一致性。种植冬小麦的品种为新冬 22,滴灌带布设方式为 1 管 4 行,行距为 10 cm。从 4 月下旬到 8 月下旬滴灌灌水 9 次,灌溉方式为高压滴灌,总灌水量 6 300 $m^3 \cdot hm^{-2}$。

表 1　研究区土壤本底养分及盐分含量

Tab. 1　Contents of soil background nutrients and salinity in the study area

地块编号	土层深度/cm	有机质/($g \cdot kg^{-1}$)	速效氮/($mg \cdot kg^{-1}$)	速效磷/($mg \cdot kg^{-1}$)	速效钾/($mg \cdot kg^{-1}$)	盐分/($g \cdot kg^{-1}$)
地块 1	0 ~ 20	8.71	56.12	23.02	380.01	10.81
	20 ~ 40	9.13	60.86	26.36	365.43	11.14
地块 2	0 ~ 20	8.53	51.94	20.75	395.72	10.67
	20 ~ 40	8.78	56.17	22.47	340.27	10.98
地块 3	0 ~ 20	8.92	60.04	19.72	360.13	11.21
	20 ~ 40	8.97	65.01	24.03	382.03	11.82

1.2　土壤取样方法

在 2015 年和 2017 年对 3 块试验地进行取样,2010 年地块的滴灌应用年限为 6 a 和 8 a,2012 年地块的滴灌应用年限为 4 a 和 6 a,2014 年地块的滴灌应用年限为 2 a 和 4 a,将 3 个地块应用滴灌年限按照时间序列统一排序,则滴灌年限范围可扩展至 2 a、4 a、6 a 和 8 a。依据冬小麦滴灌带布设的 1 管 4 行种植方式,以支管为界限,设置 40 m × 40 m 的采样区域,取样主要采用以下方式:各采样均处于滴灌带毛管旁,间距均为 10 m(图 1)。每个样点自上而下取 5 个土样,取样深度分别为 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm、60 ~ 80 cm。每个滴灌年限取 25 个点,3 次重复,3 个地块 2 a 共采集 5 × 25 × 3 × 6 = 2 250 个样;以滴灌带为取样中心点,垂直于滴灌带方向,两端对称分别以距中心 20 cm、40 cm 的间距进行取样,每个点自上而下取 5 个土样,取样深度分别为 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm、60 ~ 80 cm。每个滴灌年限取 15 个点,3 次重复,3 个地块 2 a 共取 5 × 15 × 3 × 6 = 1 350 个样品。

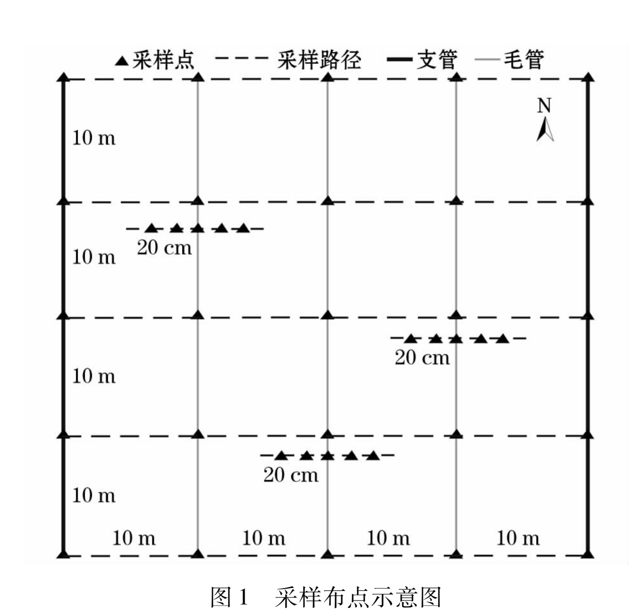


图 1　采样布点示意图

Fig. 1　The distribution of sampling sites

1.3　数据处理

用 SPSS 17 进行土壤盐分基本特征统计,采用 ArcGIS 9.3 地统计分析模块的探索性数据分析(Explore data)中的直方图(Histogram)研究数据正态特征。利用 Suffer 11 进行 Kriging 插值分析,并绘制土壤含盐量的空间分布图。

2　结果与分析

2.1　小麦收获后土壤盐分含量统计

变异系数 Cv 反映样点的离散程度,一般 Cv < 10% 为弱变异性,10% ≤ Cv ≤ 100% 为中等变异性,Cv > 100% 为强变异性[11]。小麦主要根区的深度范围在 0 ~ 20 cm 内,通过对奇台县小麦收获后不同滴灌年限土壤含盐量进行统计显示(表 2),不同滴灌年限下各土层土壤盐分均符合对数正态分布。应用滴灌技术 2 a、4 a、6 a 间,0 ~ 10 cm 土层土壤盐分变

表 2　不同滴灌年限土壤盐分含量统计特征

Tab. 2　Static results of soil salinity in fields with different years of drip irrigation

滴灌年限	采样地块	采样年份	土层深度/cm	样点数	最小值/(g·kg⁻¹)	最大值/(g·kg⁻¹)	均值/(g·kg⁻¹)	变异系数/%	储盐量/kg	正态检验
2 a	地块 3	2015	0～10	75	6.13	11.92	10.23aA	14.15	1.37	对数正态
			10～20	75	9.89	13.24	11.24bA	6.86	1.56	对数正态
			20～40	75	10.34	12.66	11.58bA	5.58	3.37	对数正态
			40～60	75	10.82	15.14	12.14cA	7.03	3.54	对数正态
			60～80	75	10.88	13.93	12.42cA	5.74	3.47	对数正态
			0～80	–	–	–	–	–	13.31	–
	地块 2	2015	0～10	75	8.71	15.51	9.67aB	22.81	1.36	对数正态
			10～20	75	7.29	12.14	9.62aB	14.24	1.39	对数正态
			20～40	75	7.43	12.58	10.54aB	12.08	3.25	对数正态
			40～60	75	7.74	13.12	10.68abB	22.39	3.35	对数正态
4 a			60～80	75	9.38	13.01	11.50bA	6.42	3.24	对数正态
			0～80	–	–	–	–	–	12.59	–
	地块 3	2017	0～10	75	4.70	12.38	9.91aB	23.54	1.33	对数正态
			10～20	75	7.24	12.52	10.50aAB	15.73	1.47	对数正态
			20～40	75	9.03	12.37	11.14bAB	10.61	3.21	对数正态
			40～60	75	10.25	12.57	11.78bAB	5.84	3.45	对数正态
			60～80	75	9.71	13.42	12.39bA	9.03	3.48	对数正态
			0～80	–	–	–	–	–	12.94	–
6 a	地块 1	2015	0～10	75	3.10	12.14	9.72aB	20.39	1.31	对数正态
			10～20	75	8.47	19.84	10.90bAB	19.91	1.52	对数正态
			20～40	75	9.08	12.21	10.88bB	6.94	3.16	对数正态
			40～60	75	10.04	13.74	11.69cAB	6.91	3.43	对数正态
			60～80	75	2.43	14.32	9.69aB	32.34	2.71	对数正态
			0～80	–	–	–	–	–	12.13	–
	地块 2	2017	0～10	75	6.68	12.21	9.40aB	18.73	1.27	对数正态
			10～20	75	8.25	10.60	9.50aB	9.18	1.33	对数正态
			20～40	75	9.08	12.28	10.22bB	7.47	2.95	对数正态
			40～60	75	10.14	12.54	11.03bB	8.40	3.21	对数正态
			60～80	75	10.52	12.21	11.09bAB	9.58	3.1	对数正态
			0～80	–	–	–	–	–	11.86	–
8 a	地块 1	2017	0～10	75	7.20	10.19	8.78aC	8.93	1.19	对数正态
			10～20	75	4.77	16.68	9.75aB	42.09	1.38	对数正态
			20～40	75	5.18	17.08	10.61aB	44.54	3.08	对数正态
			40～60	75	9.09	14.18	11.12bB	16.25	3.20	对数正态
			60～80	75	11.12	13.31	12.10bA	6.27	3.34	对数正态
			0～80	–	–	–	–	–	12.19	–

注：不同小写字母表示在 0～10 cm、10～20 cm、20～40 cm、40～60 cm 和 60～80 cm 不同深度同一滴灌年份具有显著差异($P<0.05$)；不同大写字母表示在 0～10 cm、10～20 cm、20～40 cm、40～60 cm 和 60～80 cm 同一土层深度不同滴灌年限间具有显著差异($P<0.05$)。

异系数最大为 23.54%，最小为 14.15%，都为中等程度变异。0～10 cm 土层变异系数明显大于 10 cm 以下土层变异系数；应用滴灌技术 8 a 时，0～10 cm 土层土壤盐分变异系数为 8.93%，呈弱变异性特征。与应用滴灌技术 2 a、4 a 相比，应用滴灌技术 8 a 时 20～40 cm 土层变异系数逐渐增大，表现为中等变异性特征。

通过对不同滴灌年限土壤含盐量进行统计可以看出(表 2，图 2)，随着研究区滴灌应用年限的增加，小麦收获后土壤盐分空间分布表现出明显的差异性，总结为以下几个特征：① 不同滴灌年限下 0～60 cm 土层深度范围内，盐分含量呈现出“下高上低”的特征，如 40～60 cm 土层盐分含量和储盐量显著高于 0～40 cm，没有表层积盐现象。② 0～10 cm 土层含盐量和储盐量(1 m^2 内不同深度段土体的储盐量)随着滴灌年限的增加显著降低，如在应用滴灌年限 2 a 时表层 0～10 cm 土层含盐量和储盐量分别为 10.23 $g·kg^{-1}$ 和 1.37 kg，在应用滴灌年限

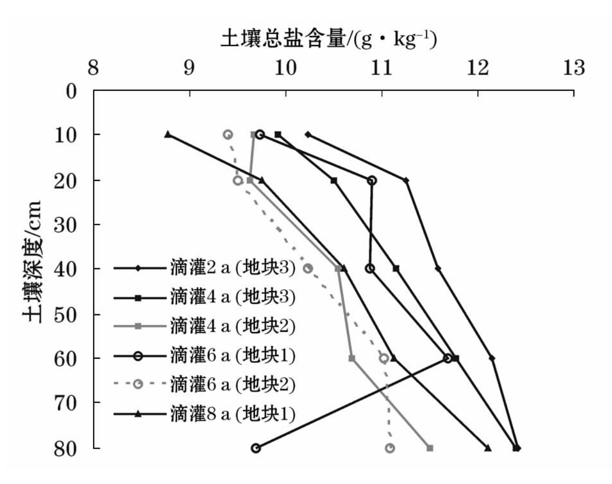


图 2　不同滴灌年限滴灌带下土壤盐分分布

Fig. 2　Distribution of soil salinity in fields with different years of drip irrigation

8 a 时，显著降低至 8.78 $g \cdot kg^{-1}$、1.19 kg；10～20 cm 土层含盐量和储盐量分别为 11.24 $g \cdot kg^{-1}$、1.56 kg，在应用滴灌年限 8 a 时，显著降低至 9.75 $g \cdot kg^{-1}$、1.38 kg。应用滴灌技术 8 a 后，根区 0～20 cm 的洗盐效果最好。③ 20 cm 以下土层含盐量和储盐量随滴灌年限的增加有逐渐降低的趋势。在应用滴灌技术 6 a 后，0～80 cm 土壤含盐量和储盐量显著减少，储盐量由滴灌 2 a 时的 13.31 kg 显著降低至滴灌 6 a 时的 11.86 kg，而在应用滴灌技术 8 a 后，储盐量又上升至 12.19 kg。因此，在应用滴灌技术 6 a 后，对表层 0～80 cm 土层的洗盐效果较好，水将盐分淋洗至 60 cm 以下区域。但由于滴灌灌水量有限，盐分在 60 cm 土层以下一定区域积累，导致在应用滴灌技术 8 a 后，0～80 cm 土层储盐量有小幅度的上升。

2.2　土壤盐分水平运移特征

运用 Suffer 11 对不同滴灌年限下土壤盐分进行了 Kriging 插值分析（图 3）。通过对滴灌带中心至两侧方向土壤盐分含量空间分布特征的统计，可直观反映出不同滴灌年限下盐分在垂直滴头方向的时空运移特征。不同滴灌年限间，自滴灌带中心至两侧，盐分发生了再分布，滴头附近区域的盐分受到淋洗。随着滴灌年限的增加，盐分含量总体具有从滴灌中心向两侧及深部土层迁移的特征。如在应用滴灌 2 a 后，盐分主要在滴头下方 30 cm、距滴头水平距离 20 cm 的区积聚。这主要是因为随水入渗，盐分逐渐向滴头两侧和下方迁移，由于单次灌水量少，水盐运移达不到较深的土层，同时在水平方向上的推进也受到限制；在应用滴灌 4 a、6 a、8 a 后，盐分逐渐向滴头下方 60 cm 以下、距滴头水平距离 40 cm 以外区域集聚。

2.3　不同滴灌年限对小麦产量的影响

对 3 个地块 2010—2017 年小麦年产量进行统计显示（图 4），不同滴灌年限对小麦产量具有显著的影响。如地块 1，2010 年应用滴灌技术 1 a 时年产量为 7 450 $kg \cdot hm^{-2}$，在应用滴灌技术 8 a 时的 2017 年产量最高，约为 720 $kg \cdot hm^{-2}$。地块 2 在 2012 年开始使用滴灌技术，当年产量为 7 140 $kg \cdot hm^{-2}$，随着应用滴灌年限的增加，产量逐年呈锯齿状上升特征，在应用滴灌技术 6 a 时的 2017 年产量最高，约为 7 620 $kg \cdot hm^{-2}$；地块 3 在 2014 年开始使用滴灌技术，当年产量为 7 050 $kg \cdot hm^{-2}$，随着应用滴灌年限的增加，产量逐年呈锯齿状上升特征，在应用滴灌技术 4 a 后的 2017 年产量最高，约为 7 500 $kg \cdot hm^{-2}$。同时，地块 1 在 2010 年开始使用了滴灌技术，比地块 2 和地块 3 分别早了 2 a 和 4 a，对比 3 个地块在 2010—2017 年产量可以看出，地块 1 小麦年产量明显高于地块 2 和地块 3，即较早使用

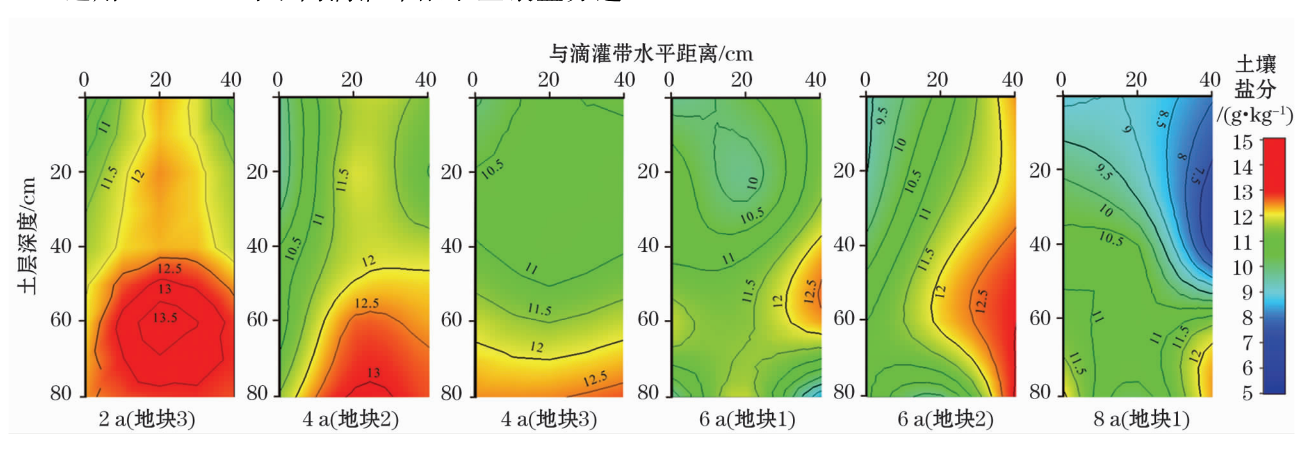


图 3　不同滴灌年限小麦收获后土壤盐分空间分布

Fig. 3　Spatial distribution of soil salinity after wheat harvest in fields with different years of drip irrigation

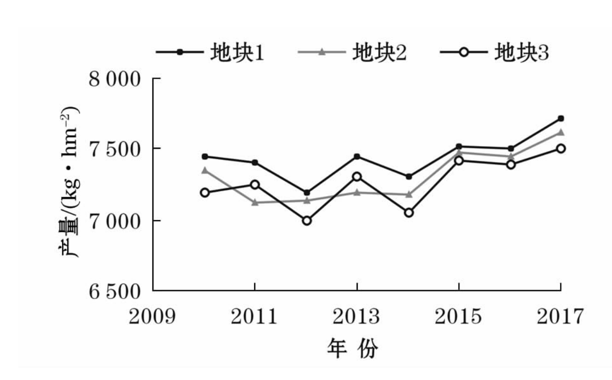


图 4　不同滴灌年限小麦产量

Fig. 4　The wheat yield in fields with different years of drip irrigation

滴灌技术的地块,年产量表现出较为明显的优势。综上所述,在 2010—2014 年是应用滴管技术的初期,产量整体表现出上下波动的锯齿状特征,2014 年后,随着应用滴灌年限的增加,小麦产量逐渐稳定上升,这和 0～80 cm 土壤含盐量和储盐量的变化有一定的响应关系。

3　讨 论

在奇台地区无覆膜滴灌冬小麦地块开展不同滴灌年限下土壤盐分运移规律研究表明:应用滴灌技术 8 a 后,滴头下 0～60 cm 土层呈现脱盐趋势,土层含盐量和储盐量随滴灌年限的增加逐渐降低,没有表层积盐特征,其中根区 0～20 cm 的洗盐效果最好;在应用滴灌技术 6 a 后,0～60 cm 土层的洗盐效果显著,但由于滴灌单次灌水量有限,盐分被淋洗至 60 cm 以下一定区域并积累;垂直于滴灌带方向,随着滴灌年限的增加,盐分总体具有从滴灌中心向两侧及深部土层迁移的特征;在小麦产量方面,随着滴灌年限的增加,小麦的产量逐渐上升,土壤含盐量与小麦年产量有一定响应关系。

研究区土壤盐分迁移规律与该地区的土壤质地、无覆膜条件、地下水位、气候以及灌溉制度等因素相关[12－15]。在灌溉期,由于滴灌具有少量多次的灌水特征,盐分随水逐渐向深部和滴灌带两测迁移,但单次灌水量有限,灌入水多数渗入到土层 60 cm 范围内,并快速被小麦吸收,从而使得随水运移的盐分在此深度范围内聚集。且与大水漫灌相比,滴灌增加了灌水频率,使得土壤盐分在蒸发作用下还未来得及向上运移就又进行了下次灌水,有效控制了因地下水位抬升后而引起盐分的表聚[16]。此外,由于滴灌灌水量少,水中携带的无机盐量相对减少,蒸发后产生的盐碱物质较漫灌要少得多,利于控制土壤盐碱化[17]。在非灌溉期,地下水上升和强烈的地表蒸发作用是土壤表层积盐的主要驱动力。由于奇台地区地下水位较深,约在 16 m,因此,较深的地下水位不利于研究区土壤中盐分再次向上迁移形成表聚。关于地下水对盐分迁移特征的影响,王振华等[18]认为,当地下水位较高时,随灌溉水的不断淋洗,表层土壤盐分可能不断进入地下水;管孝艳等[19]认为,地下水埋深在 1.5～2.5 m 时,有利于作物生长,但为防止盐分表聚,地下水埋深宜控制在2 m 左右。笔者认为,本研究结果一方面是由于奇台地区地下水埋深较深,上层淋洗下的盐不能随地下水被带走。另一方面,奇台地区强烈的蒸发作用和无覆膜滴灌条件下,深埋的地下水也不易于向上迁移,不会将地下水的盐分和灌溉期滴灌淋洗下去的盐分重新带入表层,从而造成土壤表层聚盐。同时,小麦的密植方式增加了地表覆盖度,减少土壤水分蒸发,有利于控制该区盐分在表层的聚集[20]。

综上所述,由于奇台地区干旱气候背景下强烈的蒸发作用,建议在目前的灌溉制度下,增加滴灌频率并减少单次的灌水量,使根系周围始终保持水分来提高洗盐效果;滴灌水采用较低矿化度的水进行滴灌,降低灌溉水带入的盐分。同时,研究制定合理的灌溉制度,实现精量灌溉,使小麦只得到生长所需的水,减少过量的水或者大水漫灌引起区域地下水位的抬升,造成深部盐分的上反;在小麦生长过程中,根据小麦不同生育期的需肥规律按需施肥,减少盲目施肥、滥施肥造成土壤中盐分和重金属污染物,这对小麦产量的提高具有重要意义。

4　结 论

(1) 应用滴灌技术 8 a 后,滴头下 0～60 cm 土层呈现脱盐趋势,没有表层积盐特征,根区 0～20 cm 土壤的洗盐效果最好;在应用滴灌技术 6 a 后,0～60 cm土层的洗盐效果显著,盐分被淋洗至 60 cm 以下一定区域并积累。

(2) 垂直于滴灌带方向,随着滴灌年限的增加,土壤水分携带盐分由滴灌中心向两侧及深部土层迁移;应用滴灌技术 8 a 后,盐分逐渐向滴头下方 60 cm 以下、距滴头水平距离 40 cm 以外区域集聚。

(3) 随着滴灌年限增加,小麦的产量逐渐上升,土壤含盐量和小麦年增产有一定响应关系。

(4) 在密植作物小麦中,应用滴灌技术对根区能够起到较好的脱盐效果,建议在目前的灌溉制度下,增加滴灌频率并减少单次的灌水量,为根区生长创造了良好的低盐环境。

参考文献(References):

〔1〕 孙海燕,叶含春,许丽,等. 沙漠绿洲区平原水库下缘盐荒地水盐动态规律〔J〕. 干旱区研究,2017,34(5):967 – 971. 〔Sun Haiyan, Ye Hanchun, Xu Li, et al. Water and salt migration under saline wasteland in a desert-oasis area at the lower edge of a plain reservoir〔J〕. Arid Zone Research,2017,34(5):967 – 971.〕

〔2〕 贡璐,刘曾媛,塔西甫拉提·特依拜. 极端干旱区绿洲土壤盐分特征及其影响因素〔J〕. 干旱区研究,2015,32(4):657 – 662.〔Gong Lu, Liu Zengyuan, Tashpolat Tiyip, et al. Soil salinity characteristic and its determinant factors at different soil types in oasis of extreme arid region〔J〕. Arid Zone Research, 2015, 32(4):657 – 662.〕

〔3〕 赵西梅,夏江宝,陈为峰,等. 蒸发条件下潜水埋深对土壤 – 柽柳水盐分布的影响〔J〕. 生态学报,2017,37(18):6 074 – 6 080.〔Zhao Ximei, Xia Jiangbao, Chen Weifeng, et al. Effect of groundwater depth on the distribution of water and salinity in the soil-*Tamarix chinensis* system under evaporation conditions〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2017,37(18):6 074 – 6 080.〕

〔4〕 李明思,刘洪光,郑旭荣. 长期膜下滴灌农田土壤盐分时空变化〔J〕. 农业工程学报,2012,28(22):82 – 87.〔Li Mingsi, Liu Hongguang, Zheng Xurong. Spatiotemporal variation for soil salinity of field land under long-term mulched drip irrigation〔J〕. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2012,28(22):82 – 87.〕

〔5〕 孙林,罗毅. 长期滴灌棉田土壤盐分演变趋势预测研究〔J〕. 水土保持研究,2013,20(1):186 – 192.〔Sun Lin, Luo Yi. Study on the evolution trends of soil salinity in cotton field under long-term drip irrigation〔J〕. Research of Soil and Water Conservation,2013, 20(1):186 – 192.〕

〔6〕 靳志锋,虎胆·吐马尔白,牟洪臣,等. 土壤冻融温度影响下棉田水盐运移规律〔J〕. 干旱区研究,2013,30(4):623 – 627.〔Jin Zhifeng, Hudan Tumarbay, Mou Hongchen, et al. Soil water and salt migration in cotton field under soil freezing-thawing Temperature〔J〕. Arid Zone Research,2013,30(4):623 – 627.〕

〔7〕 辛明亮,吕廷波,何新林,等. 玛河灌区膜下滴灌棉田表层土壤盐分空间变异性〔J〕. 干旱地区农业研究,2017,35(4):74 – 79.〔Xin Mingliang, Lü Tingbo, He Xinlin, et al. Spatial variation of surface soil salinity in under-film drip irrigating of cotton field in irrigated areas of Manas River Basin〔J〕. Agricultural Research in the Arid Areas,2017,35(4):74 – 79.〕

〔8〕 Ladenburger C G, Hild A L, Kazmer D J, et al. Soil salinity patterns in *Tamarix invasions* in the Bighorn Basin, Wyoming, USA〔J〕. Journal of Arid Environments,2006,65(1):111 – 128.

〔9〕 张鹏锐,李旭霖,崔德杰,等. 滨海重盐碱地不同土地利用方式的水盐特征〔J〕. 水土保持学报,2015,29(2):117 – 121.〔Zhang Pengrui, Li Xulin, Cui Dejie, et al. Characteristics of water and salt under different land use in heavy coastal saline-alkaline land〔J〕. Journal of Soil and Water Conservation,2015,29(2):117 – 121.〕

〔10〕 Liu M X, Yang J S, Li X M, et al. Distribution and dynamics of soil water and salt under different drip irrigation regimes in Northwest China〔J〕. Irrigation Science,2013,31(4):675 – 688.

〔11〕 王小艳,冯跃华,李云,等. 黔中喀斯特山区村域稻田土壤理化特性的空间变异特征及空间自相关性〔J〕. 生态学报,2015,35(9):2 926 – 2 936.〔Wand Xiaoyan, Feng Yuehua, Li Yun, et al. Spatial variability of soil physiochemical properties and their autocorrelations at village-region in karst mountainous area, Guizhou Province〔J〕. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(9): 2 926 – 2 936.〕

〔12〕 Gowing J W, Rose D A, Ghamarnia H. The effect of salinity on water productivity of wheat under deficit irrigation above shallow groundwater〔J〕. Agricultural Water Management, 2009, 96(3): 517 – 524.

〔13〕 Isidoro D, Grattan S R. Predicting soil salinity in response to different irrigation practices, soil types and rainfall scenarios〔J〕. Irrigation Science,2011,29(3):197 – 211.

〔14〕 杨九刚,何继武,马英杰,等. 灌水频率和灌溉定额对膜下滴灌棉花生长及产量的影响〔J〕. 节水灌溉,2011(3):29 – 33.〔Yang Jiugang, He Jiwu, Ma Yingjie, et al. Effects of irrigation frequency and quota on cotton growth and yield with drip irrigation under plastic film〔J〕. Water-Saving Irrigation, 2011(3): 29 – 33.〕

〔15〕 王峰,孙景生,刘祖贵,等. 不同灌溉制度对棉田盐分分布与脱盐效果的影响〔J〕. 农业机械学报,2013,44(12):120 – 128.〔Wang Feng, Sun Jingsheng, Liu Zugui, et al. Effect of different irrigation scheduling on salt distribution and leaching in cotton field〔J〕. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(12):120 – 128.〕

〔16〕 Zhang Z, Hu H, Tian F, et al. Soil salt distribution under mulched drip irrigation in an arid area of Northwestern China〔J〕. Journal of Arid Environments,2014,104(4):23 – 33.

〔17〕 Wang R, Kang Y, Wan S, et al. Salt distribution and the growth of cotton under different drip irrigation regimes in a saline area〔J〕. Agricultural Water Management,2011,100(1):58 – 69.

〔18〕 王振华,杨培岭,郑旭荣,等. 典型绿洲灌区长期膜下滴灌棉田根区土壤盐分及离子变化特征〔J〕. 水土保持学报,2014,28(3):158 – 165.〔Wang Zhenhua, Yang Peilin, Zhen Xurong, et al. Variation characteristics of soil salinity and ion in root zone by long-term drip irrigation under mulch in typical oasis irrigation area〔J〕. Journal of Soil and Water Conservation,2014,28(3):158 – 165.〕

〔19〕 管孝艳,王少丽,高占义,等. 盐渍化灌区土壤盐分的时空变异

特征及其与地下水埋深的关系〔J〕. 生态学报,2012,32(4):1 202 – 1 210.〔Guan Xiaoyan, Wang Shaoli, Gao Zhanyi, et al. Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2012,32(4):1 202 – 1 210.〕

〔20〕张冈,周志宇,张彩萍. 利用方式对盐渍化土壤中有机质和盐分的影响〔J〕. 草业学报,2007,16(4):15 – 20.〔Zhang Gang, Zhou Zhiyu, Zhang Caiping. The effect of land use on the levels of salt and organic matter in sal ine soil〔J〕. Acta Prataculturae Sinica,2007,16(4):15 – 20.〕

Spatiotemporal Revolution of Soil Salinity in Winter Wheat Fields with Different Years of Drip Irrigation Without Mulching in Arid Area

LI Yuan, GEN Qin-long, LAI Ning, LI Qing-jun, CHEN Shu-huang

(*Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi* 830091, *Xinjiang, China*)

Abstract: In order to explore the sustainability of drip irrigation for winter wheat planting in arid area, a long-term located experiment was carried out in Qitai County, Xinjiang. Soil samples were collected along a soil profile with different soil depths of 0 – 80 cm from outward the central area of drip irrigation. Based on the geostatistical analysis, a winter wheat field where drip irrigation had been used for 8 years was selected for researching the distribution of soil salt. The research results showed that: ① Soil salinity was in a logarithm normal distribution. The soil salt content was decreased gradually in 0 – 80 cm soil layer with increasing the years of drip irrigation. After 8 years of drip irrigation, the soil desalinization was obvious in the 0 – 20 cm rhizosphere. After 6 years of drip irrigation, the soil desalinization was obvious in the 0 – 60 cm soil layer, and a salt accumulation occurred under this layer; ② With increasing the years of drip irrigation, soil salt migrated down to deep soil layer and outward from the central area of drip irrigation; ③ With increasing the years of drip irrigation, wheat yield was gradually increased. It was suggested to increase the frequency but decrease the volume of drip irrigation under the current irrigation system. The study results could provide further support for popularizing drip irrigation of winter wheat without mulching.

Key words: winter wheat; without mulch; drip irrigation; soil salinity; arid area; Qitai; Xinjiang